

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :
(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

2 479 992

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21) **N° 80 07531**

(54) Procédé de prospection géophysique par réflexion électromagnétique par mesure du champ électrique réfléchi et moyen de mise en œuvre par émetteur et récepteur rapprochés.

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). G 01 V 3/12, 3/08.

(22) Date de dépôt..... 3 avril 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 41 du 9-10-1981.

(71) Déposant : DUROUX Jean, résidant en France.

(72) Invention de : Jean Duroux.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : A. M. Blain,
22, av. de l'Opéra, 75001 Paris.

L'invention se rapporte à un procédé de prospection géophysique par réflexion électromagnétique par mesure du champ électrique réfléchi en vue notamment de la détection de discontinuités de résistivité électrique profondes ainsi qu'aux 5 moyens de mise en oeuvre du procédé par émetteur et récepteur confondus en un même lieu ou très rapprochés l'un de l'autre.

Une analyse générale de la réflexion des ondes électromagnétiques donnée par un sous-sol stratifié au moyen d'émetteurs constitués de dipôles magnétiques ou de dipôles électriques 10 ou encore au moyen de lignes longues mises à la terre, a été présentée dès 1962 dans le livre de J.R. WAIT intitulé "Electromagnetic waves in stratified media" (Ondes électromagnétiques en milieu stratifié) publié en 1962 par "Pergamon Press" à Oxford. Cependant cette analyse ne fournit aucun 15 moyen d'identifier un maximum de signal réfléchi imputable à une discontinuité électrique dans le sous-sol.

En dépit de l'intérêt suscité par le mode d'investigation du sous-sol fondé sur ses contrastes de résistivité électrique et des très nombreux procédés préconisés, aucun de ceux-ci 20 ne permet une détection précise par des moyens utilisables pratiquement en prospection.

A titre d'exemple l'utilisation du procédé consistant à injecter des courants dans le sol au moyens de deux électrodes et à mesurer le potentiel entre deux autres électrodes 25 nécessite l'emploi, pour les investigations profondes, de câbles de très grandes longueurs, rendant pratiquement impossible l'utilisation de ce procédé en maints endroits. En outre la grande extension latérale de la zone des mesures aboutit à une imprécision des résultats en raison des effets de discontinuités latérales de résistivité.

Afin de réduire l'encombrement des moyens d'émission et de réception on a songé à utiliser les sources électromagnétiques naturelles ou artificielles, ou encore à exploiter le couplage émetteur récepteur. Cependant en raison du caractère 35 aléatoire des signaux naturels ainsi que des difficultés d'exploitation des signaux artificiels assortis d'un rapport signal sur bruit généralement très faible, on a dû faire appel à des dispositifs complexes et à utiliser un émetteur et un récepteur très éloignés l'un de l'autre pour atteindre 40 une profondeur d'investigation suffisante.

En résumé, l'art antérieur ne permet pas, en dépit des récepteurs actuels, de résoudre le problème d'émission et de réception de signaux dont le rapport signal sur bruit soit suffisant en utilisant une source émettrice de puissance assez faible et aisément transportable sur le terrain tout en permettant d'atteindre une grande profondeur d'investigation.

L'objet de l'invention est un procédé de prospection de géophysique par réflexion électromagnétique au moyen d'émetteur et de récepteur électromagnétiques utilisant des séries de fréquences inférieures à 10 000 Hz notamment pour l'investigation des zones profondes selon lequel l'émission du signal d'investigation s'effectue en même temps que la réception du signal réfléchi, la détermination des discontinuités du sous-sol s'effectuant en utilisant une composante du signal reçu en quadrature et une composante de ce même signal en phase avec le signal émis, caractérisé en ce que les moyens émetteurs et récepteurs sont situés à la surface du sol ou de l'eau, et inclus dans un domaine restreint déterminé par la relation $X\sqrt{\mu\sigma} \ll 1$ où X est la plus grande distance entre électrodes du dispositif émetteur-récepteur ou dipôles de ce dispositif, où μ est la perméabilité magnétique moyenne du sous-sol, σ sa conductivité électrique moyenne et ω la pulsation, les fréquences utilisées étant comprises entre 0,001 hertz et 10 000 hertz et en ce que l'on n'utilise exclusivement pour l'investigation du sous-sol que le champ électrique réfléchi par les discontinuités de résistivité électrique.

Ainsi, contrairement aux procédés antérieurs, on peut procéder à l'investigation des zones profondes tout en accroissant la qualité des mesures par le rapprochement des moyens d'émission et de réception qui permet de transmettre de l'un à l'autre tout signal de référence nécessaire, ces moyens pouvant en outre rester fixes pendant toutes les mesures sur une station de sondage. De plus la puissance d'émission est réduite et le groupement de l'ensemble des commandes de l'appareillage permet de ne nécessiter qu'un seul opérateur.

L'invention se distingue donc fondamentalement des procédés antérieurs exploitant les régimes transitoires, puisqu'au lieu de procéder à la réception après cessation d'une émission on capte les signaux réfléchis en simultanéité avec l'émission, que lesdits signaux sont en régime alternatif et que,

de ce fait, on peut accroître le rapport signal sur bruit avec filtrage du signal réfléchi.

De même, l'invention se distingue fondamentalement des procédés antérieurs exploitant le couplage de deux dipôles en régime alternatif où l'on compense simplement le champ primaire reçu en l'absence de tout corps conducteur pour ne recevoir que le champ secondaire dû à un corps conducteur situé éventuellement au voisinage des dipôles. En effet, on mesure selon l'invention les composantes de champ électrique à la surface du sol qui est conducteur et on ne peut donc pas faire simplement abstraction de celui-ci. De surcroît une telle compensation ne resterait valable que pour une fréquence donnée alors que selon l'invention on utilise plusieurs fréquences.

En outre, contrairement aux procédés antérieurs la mesure du champ électrique réfléchi s'attache au domaine des très faibles déphasages entre le signal émis et le signal réfléchi montrant l'existence de maximums de réflexion imputables à des contrastes de résistivité profonds. L'amplitude de ces maximums est particulièrement importante dans le cas de la réflexion sur un milieu profond de résistivité élevée comme les gisements d'hydrocarbures, les cavités souterraines, les filons de quartz par exemple. Dans de tels cas on constate que l'amplitude du champ réfléchi peut même dépasser celle du champ émetteur lorsque le contraste de résistivité est suffisant et lorsque le trajet aller et retour entre le sol et le réflecteur profond ne cause que des déphasages inférieurs à 10 degrés. Ce résultat inattendu va à l'encontre des résultats obtenus avec la majorité des procédés électromagnétiques connus qui s'appliquent de préférence à la détection des corps conducteurs contenus dans un sous-sol environnant plus résistant.

D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront dans la description suivante faite en référence au dessin annexé qui représente à titre d'exemple non limitatif un mode de réalisation des moyens mis en oeuvre pour l'application du procédé.

Sur le dessin, la figure unique représente sous forme de blocs l'ensemble schématique des circuits, émetteurs et récepteurs, quel que soit le moyen émetteur particulier utilisé.

La chaîne émettrice, disposée à la surface du sol, a été symbolisée par les deux électrodes 1 alimentées par l'amplificateur de puissance 2 transmettant un courant alternatif de très basse fréquence $\omega/2\pi$ comprise entre 0,001 hertz et 10 000 hertz.

L'émetteur proprement dit peut être de tout type. Ce peut être notamment un dipôle électrique constitué des deux électrodes 1 -ou de plusieurs groupes d'électrodes- fichées dans le sol et séparées par une distance L. Le récepteur présenté schématiquement par les électrodes 3 est situé à une distance R du dipôle perpendiculairement à l'axe de celui-ci. Selon l'invention on choisit R pour que sa valeur soit très supérieure à L tout en satisfaisant à la relation $RV\mu\omega\sigma \ll 1$, μ étant la perméabilité magnétique moyenne du sol, σ sa conductivité moyenne et ω la pulsation du courant. Le champ électrique émis en surface à la distance R du dipôle et perpendiculairement à son axe est en phase avec le courant et s'exprime approximativement par $E \approx \frac{LI}{2\pi\sigma R^3}$.

Si l'on dispose d'un dipôle magnétique d'axe horizontal, l'amplificateur de puissance 2 alimente de même un solenoïde dont les spires verticales sont isolées, et le solenoïde, de surface totale S, repose sur le sol. Selon l'invention on choisit le diamètre des spires pour que celui-ci soit très inférieur à la distance R tout en choisissant R pour que cette distance soit telle que $RV\mu\omega\sigma$ soit encore très inférieure à 1. Le champ électrique transverse émis à la surface du sol, à la distance R sur l'axe du dipôle magnétique est alors déphasé de $\frac{\pi}{2}$ par rapport au courant I et s'exprime approximativement par $E \approx \frac{SI}{4\pi R^2} j\omega\mu$.

Si l'on ne dispose comme moyen émetteur que d'une ligne électrique longue reliée à la terre à ses deux extrémités par deux électrodes ou groupes d'électrodes, on alimente cette ligne, désignée parfois par l'expression "ligne infinie" comme précédemment au moyen de l'amplificateur de puissance 2. Si L désigne la distance des électrodes 1 alimentées par l'amplificateur, on dispose les électrodes de mesure 3 au voisinage du centre de la ligne et l'on choisit L pour que la quantité $LV\mu\omega\sigma$ soit encore très inférieure à 1.

En résumé, et quel que soit le mode choisi d'émission-réception, où la ligne des électrodes de mesure 3 est paral-

lèle à la ligne des électrodes d'émission 1 dans le cas d'émission par dipôle électrique ou par ligne longue, ou au contraire est perpendiculaire à l'axe d'un solenoïde le champ électrique capté par les électrodes 3 étant déphasé 5 de $\frac{\pi}{2}$ par rapport au courant circulant dans le dipôle émetteur magnétique, on mesure la tension entre les électrodes de mesure 3 rapportée à la distance entre ces électrodes, la distance R des électrodes 1 et 3, ainsi que la longueur L dans le cas de la ligne longue étant telle que $RV\mu\omega_0$ 10 ou $LV\mu\omega_0$ soit très inférieure à 1 pour rendre les dispositifs électromagnétiques émetteur et récepteur confondus ou pratiquement confondus.

A titre d'exemple si la distance R = 50 mètres, avec $\frac{\omega}{2\pi} = 1$ hertz, une résistivité moyenne $\frac{1}{\rho} = 50$ ohmmètres et 15 une perméabilité moyenne du sol égale à celle du vide $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ on voit que $RV\mu\omega_0 = 0,02$. L'expérience montre alors que la tension réfléchie mesurée entre électrodes 3 n'est pas infiniment petite par rapport à la tension incidente directe de l'émission, superposée dans l'espace et dans le 20 temps, de telle sorte qu'il devient possible, contrairement aux procédés antérieurs, de mesurer un "champ réfléchi" en présence d'un champ direct beaucoup plus intense.

Ainsi dans ces conditions et dans ces conditions seulement le champ reçu directement par les électrodes de mesure 25 3 est pratiquement en phase avec le courant émetteur lorsque l'émission s'effectue par dipôle électrique ou par ligne électrique et en quadrature avec le courant circulant dans le dipôle magnétique quand on utilise ce dernier. Il devient alors possible d'éliminer ce champ direct en mesurant la 30 composante du champ électrique en quadrature avec le champ électrique émetteur c'est-à-dire la composante en quadrature avec le courant émetteur lorsque l'on utilise un dipôle électrique ou une longue ligne, ou en mesurant la composante du champ électrique en phase avec le courant émetteur dans 35 le cas d'une émission par dipôle magnétique.

Bien que le seul capteur 3 puisse ainsi mesurer le champ électrique réfléchi par les discontinuités de résistivité électrique du sous-sol à l'exclusion du champ direct, les conditions imposées peuvent ne pas toujours être assez rigoureusement observées dans la mise en oeuvre de l'invention, 40

de sorte qu'en absence même de toute réflexion sur contraste de résistivité profond, on peut observer une petite composante de champ en quadrature. On élimine une telle composante systématique soit en l'évaluant par un calcul classique, 5 moyennant une hypothèse simple sur la résistivité du sous-sol soit par simple mesure en un lieu où il y a absence de contraste réflecteur, afin de ne garder que la composante résiduelle réfléchie vraie.

Si une telle composante systématique est aisément éliminée, il n'en est pas de même de la composante en quadrature du champ direct -et d'intensité appréciable- qui risque d'être introduite en raison du très faible déphasage introduit par les imperfections des instruments de mesure. Une telle composante risquant de fausser la mesure du champ 15 réfléchi ou au moins de limiter la sensibilité de cette mesure on élimine cet inconvénient en utilisant un deuxième capteur de champ électrique 4 dit capteur de compensation, constitué de deux électrodes. Les électrodes 3 et 4 sont donc dans ce cas reliées aux entrées des amplificateurs 5 et 20 6, les électrodes 3 et les électrodes 4 étant situées respectivement aux distances R_1 et R_2 de l'émetteur et de telle sorte que la plus grande distance R_1 soit encore assez petite pour satisfaire la relation $R_1 \sqrt{\rho \omega \sigma} \ll 1$.

Le champ électrique direct ayant une amplitude décroissant proportionnellement à $\frac{1}{R^2}$ en conservant pratiquement la même phase, l'amplitude du champ réfléchi au contraire ne variant pratiquement pas en fonction de la distance R dans les conditions de l'expérience, on affecte à l'amplificateur 6 relatif au capteur de compensation constitué par les électrodes 4 un gain G_2 et à l'amplificateur 5 relatif au capteur de champ réfléchi proprement dit, constitué par les électrodes 3, un gain G_1 tel que G_1 soit supérieur à G_2 , les distances R_1 et R_2 étant de même telles que $R_1 > R_2$. Dans le mode de réalisation représenté le potentiomètre 7 disposé 30 après l'amplificateur 6 et relié à l'amplificateur de différence 8 au moyen de l'interrupteur 22, est réglé de telle sorte que les signaux directs recueillis sur les deux capteurs 3 et 4 viennent exactement s'opposer dans l'amplificateur de différence 8 de façon à s'annuler à la sortie de cet 35 amplificateur. Le réglage de compensation est effectué pour 40

une fréquence unique, assez haute pour ne pas concerner les profondeurs d'investigation qui sont l'objectif de l'investigation, c'est-à-dire en pratique à la fréquence maximum de la gamme de fréquence utilisée ou à son voisinage. La sortie de 5 l'amplificateur de différence 8 fournit ainsi le seul champ réfléchi puisque G_1 a été choisi très supérieur à G_2 . Le champ réfléchi étant constant dans les limites de distances R choisies, le gain effectué au champ réfléchi est donc $G_1 - G_2 \approx G_1$.

10 La sortie de l'amplificateur de différence 8 est connectée à un dispositif 9 de séparation des composantes en phase et en quadrature. Ce dispositif peut être le dispositif usuel connu sous le nom de "détecteur d'angle de phase", constitué par un multiplicateur suivi d'un filtre passe-bas, l'oscillateur 15 à quadrature 10 utilisé pour piloter l'amplificateur d'émission 2 servant à fournir le signal de référence sinus ou cosinus qui est multiplié par le signal issu du ou des capteurs 3 et 4. Après élimination du terme alternatif par le filtre passe-bas du séparateur 9, le signal de sortie du séparateur est le 20 signal continu en phase ou en quadrature, proportionnel au module du signal fourni par le ou les capteurs 3 et 4.

Du même coup on réalise le filtrage du bruit indésirable, qu'il soit de fréquence différente de celle du signal ou de même fréquence, mais de phase différente. De plus la réjection 25 du bruit est réglable en agissant sur la constante de temps du filtre passe-bas du séparateur.

Afin d'obtenir un rejet du bruit constant quelle que soit la fréquence, pour toute la bande de fréquence utilisée, le filtre passe-bas du séparateur 9 est un filtre contrôlé 30 par la tension fournie par le dispositif contrôlant l'oscillateur 10 selon la description qui en sera donnée plus loin. Ce contrôle rend la fréquence de coupure du filtre passe-bas du séparateur 9 proportionnelle à tout instant à la fréquence d'émission utilisée, de sorte que sa constante de temps est 35 inversement proportionnelle à cette fréquence. On obtient ainsi un réglage remarquablement efficace qui procure un temps d'établissement très court de la mesure au début de la séquence de balayage des fréquences et une réjection du bruit constante pendant tout l'enregistrement des mesures fournies par 40 la sortie du séparateur 9 pour toute la bande de fréquence

balayée et aussi étendue soit elle.

Afin de pallier les conditions défavorables rencontrées souvent sur le terrain entraînant un rapport signal sur bruit insuffisant, on filtre les signaux avant l'entrée dans le 5 séparateur 9 au moyen du filtre 11 dans la chaîne de mesure du signal réfléchi. Lorsque l'on utilise une chaîne de compensation on utilise un filtre identique 12.

Afin d'éviter de fausser les mesures par le déphasage introduit par le filtre 11 ou les filtres identiques 11 et 12 10 on place un filtre 13 identique dans le circuit fournissant le signal de référence au multiplicateur du séparateur 9 ainsi qu'un réseau déphaseur 14 ajustable sur la voie de référence qui compense par un déphasage identique tout déphasage éventuel des valeurs à mesurer pour les fréquences les plus hautes. 15 Un tel déphasage est dû à l'amplificateur d'émission 2 et aux amplificateurs de mesure 5 et 6 dont la bande passante est limitée vers les hautes fréquences.

Ce même réseau déphaseur a encore l'avantage, dans le cas où l'émetteur est constitué par un dipôle magnétique, de 20 compenser le déphasage introduit par le solenoïde d'émission, qui varie en fonction de la fréquence, par un déphasage identique du signal de référence.

Les moyens de mise en œuvre de l'invention qui viennent d'être décrits permettent donc en un même lieu de procéder à 25 l'investigation du sous-sol en profondeur en déterminant l'amplitude du champ réfléchi par les discontinuités de résistivité du sous-sol, à l'exclusion du champ directement reçu de l'émetteur, à la condition d'opérer avec une fréquence assez basse pour fournir une profondeur d'investigation suffisante. On détecte aisément l'étendue des zones de discontinuité en procédant de la même manière en différents lieux. De plus, en utilisant une série de fréquences émises successivement, ou simultanément si on émet un signal périodique mais non sinusoïdal pouvant être décomposé en une série de 30 35 signaux sinusoïdaux, on réalise un sondage en chaque lieu, puisque la profondeur de pénétration dépend de la fréquence utilisée.

Au lieu de ne régler l'oscillateur à quadrature 10 que sur une série de fréquences, ne permettant dans certains cas 40 qu'une résolution insuffisante, on préfère utiliser une fré-

quence variant continuement entre deux limites, en contrôlant pour cela la fréquence de l'oscillateur à quadrature 10 par une tension fournie par une rampe 15. La tension de la rampe varie en fonction du temps, de préférence selon une loi logarithmique ou une loi parabolique, qui fournissent respectivement une investigation à résolution constante ou à échelle de pénétration linéaire. De cette manière, le signal de référence correspond toujours à la fréquence de l'émetteur, même continuement variable et le filtrage est accordé en permanence. Le commutateur 16 permet de sélectionner au choix la composante phase ou quadrature selon que la connection est faite sur la sortie sinus ou cosinus de l'oscillateur à quadrature 10.

On réalise automatiquement de cette manière un sondage de fréquence complet dont le résultat apparaît à la sortie du séparateur 9 que l'on connecte au voltmètre continu de contrôle 17 et à un enregistreur graphique ou de tout autre type 18. La répétition des mesures en un même lieu et leur sommation par tout moyen 19 permet d'accroître encore le rapport signal sur bruit de sorte que, bien que les mesures soient excellentes même lorsque les conditions de mesure sont particulièrement défavorables, on réalise par ce moyen un dispositif d'une très grande précision et d'une plus grande sensibilité.

Il va de soi que l'on ne sortirait pas du cadre de l'invention en disposant de deux chaînes de mesure et d'enregistrement constituées chacune par les dispositifs 13, 14, 9, 17, 18 et 19, les deux dispositifs 13 étant respectivement reliés aux sorties sinus et cosinus de l'oscillateur à quadrature, l'une de ces chaînes étant affectée à la composante en phase et l'autre étant affectée à la composante en quadrature du signal d'émission, le commutateur 16 étant supprimé.

Selon une autre variante et dans le cas où l'on utilise un dipôle émetteur magnétique, il est possible de substituer à l'oscillateur à quadrature un simple oscillateur puisque le champ électrique incident dû à l'émetteur est déjà déphasé de $\frac{\pi}{2}$ par rapport au courant d'émission. Dans ce cas et lorsque l'on désire opérer sur plusieurs fréquences ou procéder à un balayage de fréquence on compense l'accroissement du champ émis par le dipôle magnétique lorsque la fréquence croît. A

cet effet on introduit un amplificateur compensateur 21, dont⁷ le gain est inversement proportionnel à la fréquence, entre l'amplificateur 8 et le séparateur 9, ce dispositif 21 pouvant être un amplificateur à gain contrôlé par tension et piloté 5 par la tension fournie par la rampe 15. Cet amplificateur 21 a été représenté en ponctué sur le dessin.

Afin d'éliminer les variations du signal émis d'une station à l'autre qui dépendent des résistances d'électrodes et de la résistivité des terrains de surface, tous éléments variables d'une station à l'autre, on détermine pour une même implantation géométrique émetteur-récepteur donnée, la composante directe en phase, mesurée seule et à part, caractérisant les conditions locales d'émission et elles seules. A cet effet, et après avoir mesuré le champ réfléchi, on déconnecte la 10 chaîne de compensation 4, 6, 12, 7 au moyen de l'interrupteur 22 et l'on inverse l'interrupteur 16 de façon à mesurer la 15 composante directe en phase.

Connaissant cette valeur on calcule le rapport du champ réfléchi au champ direct, ce dernier caractérisant donc le 20 champ incident. Ce rapport peut être calculé par l'opérateur lui-même ou être effectué par tout moyen automatique de calcul.

L'amplificateur 20, servant à transmettre le signal de l'oscillateur pilote 10 à l'amplificateur de puissance 2 de 25 l'émetteur 1, est un amplificateur à isolation, en vue d'isoler les électrodes d'émission et la masse de l'amplificateur d'émission 2 d'un côté, et la masse des appareils de mesure de l'autre côté. Par ce moyen le pilotage de l'émission peut s'effectuer de façon synchrone avec le signal de référence 30 utilisé dans le séparateur 9, même avec une fréquence qui varie de façon continue par balayage, et ceci en maintenant une séparation parfaite entre les potentiels des électrodes d'émission et les potentiels des électrodes de réception.

Selon une autre caractéristique de l'invention, on 35 remplace l'unique amplificateur d'émission (2) par plusieurs amplificateurs identiques en parallèle, les sorties de ceux-ci étant connectées, d'un côté à une électrode (ou groupe d'électrodes) commune du dispositif d'émission, et de l'autre côté respectivement à autant d'électrodes (ou de groupes 40 d'électrodes) que d'amplificateurs. Les avantages sont consi-

dérables. En effet, selon les procédés anciens, pour augmenter l'intensité du courant injecté dans le sol, on augmentait la tension d'émission, ce qui présentait, au delà d'une centaine de volts, de graves dangers d'électrocution pour les opérateurs ou toute personne touchant le dispositif déployé sur le terrain, ou simplement même marchant au voisinage de ce dispositif. De plus, on devait faire croître la puissance d'émission comme le carré de cette intensité, conduisant à l'emploi d'appareillages lourds et coûteux. Par contre selon l'invention, on réalise la même augmentation d'intensité sans augmenter la tension d'alimentation, par exemple ± 24 volts fournis par une simple batterie d'accumulateurs, donc sans aucun danger et avec une puissance consommée proportionnelle à l'intensité et non pas au carré de cette intensité.

On ne s'écarterait pas de l'invention en extrayant immédiatement, à partir des composantes mesurées à l'aide du dispositif décrit, le module et la phase du champ réfléchi et bien que l'on ait exposé l'invention en ne considérant que des opérations effectuées en temps réel rien ne s'oppose-rait à l'enregistrement préalable des signaux de mesure et de référence issus des amplificateurs 5 et 6, de l'oscillateur à quadrature 10 et de la rampe 15 afin d'effectuer en temps différé les opérations de détermination des composantes recherchées, ainsi que tout traitement ultérieur des données enregistrées en vue de leur interprétation géologique.

De même, on pourrait réaliser toutes les opérations de traitement de signaux de façon numérique, alors qu'elles ont été décrites implicitement comme des opérations analogiques.

L'invention s'applique de même sur toute surface d'eau, le dispositif pouvant être facilement déployé à la surface de l'eau en cas de prospection en mer. Du fait de la basse résistivité de l'eau de mer, les fréquences de travail sont encore plus basses que celles utilisées généralement à terre, mais l'injection de courant entre électrodes immergées est facilitée et permet en contrepartie d'obtenir une puissance d'émission plus importante.

Enfin dans le cas où l'on utilise deux chaînes de mesure et d'enregistrement identiques, constituées chacune par les dispositifs : filtre 13, réseau déphaseur 14, séparateur 9, moyens de visualisation, de mise en mémoire et d'exploitation

des résultats 17, 18 et 19 et reliés respectivement aux sorties sinus et cosinus de l'oscillateur 10, on réalise simultanément la mesure des composantes en phase et en quadrature, ce qui permet de réduire la durée des mesures, de former aussitôt le rapport du champ réfléchi au champ incident et d'effectuer tout calcul d'interprétation des mesures.

REVENDICATIONS

1°) Procédé de prospection géophysique par mesure de champs électromagnétiques au moyen d'émetteur et de récepteur électromagnétiques utilisant des séries de fréquences inférieures à 10 000 Hz notamment pour l'investigation des zones profondes selon lequel l'émission en régime alternatif du signal d'investigation s'effectue en même temps que la détection du signal réfléchi, la détermination des discontinuités du sous-sol s'effectuant en utilisant les composantes du signal reçu en phase et en quadrature avec le signal émis et où le module du signal reçu et son déphasage par rapport au signal émis caractérisé en ce que les moyens émetteurs et récepteurs sont inclus dans un domaine restreint de la surface de la terre ou de l'eau déterminé par la relation $X\sqrt{\mu\omega} \ll 1$

15 où X est la plus grande distance entre électrodes ou entre dipôles du dispositif émetteur-récepteur, où μ est la perméabilité magnétique moyenne du sous-sol, ω sa conductivité électrique moyenne et ω la pulsation, les fréquences utilisées étant comprises entre 0,001 hertz et 10 000 hertz et en ce

20 que l'on utilise pour l'investigation du sous-sol la composante électrique du champ réfléchi par les discontinuités de résistivité électrique en quadrature avec le champ électrique incident, à l'exclusion de toute composante de champ magnétique.

25 2°) Procédé tel que revendiqué en 1 selon lequel on détermine préalablement à toute mesure d'investigation des discontinuités de résistivité électrique du sous-sol la composante du champ électrique en quadrature avec le champ électrique incident, ladite composante existant éventuellement en

30 absence de toute réflexion sur un contraste de résistivité profonde et selon lequel on corrige les mesures du champ électrique réfléchi recueilli au récepteur afin d'éliminer cette composante systématique.

3°) Procédé tel que revendiqué dans l'une quelconque des revendications 1 et 2 selon lequel on utilise un second capteur pour déterminer la composante électrique du champ réfléchi en quadrature ou en phase, ou son module ou sa phase caractérisé en ce que l'on élimine toute introduction parasite de composante électrique en quadrature du champ incident direct fourni par l'émetteur ainsi que toute autre composante

du champ incident direct en phase ou en module en disposant le second capteur à une distance R_2 de l'émetteur plus petite que la distance R_1 du récepteur à l'émetteur et en affectant respectivement au second capteur et au récepteur des gains 5 d'amplification G_2 et G_1 des signaux reçus, tels que les signaux reçus et amplifiés se compensent pour annuler ladite composante fournie par l'émission directe en ne laissant subsister que le signal réfléchi, cette annulation étant réglée pour une fréquence unique choisie de la série utilisée.

10 4°) Procédé tel que revendiqué dans l'une quelconque des revendications 1 à 3 selon lequel on détermine préalablement à toute mesure d'investigation des discontinuités de résistivité électrique du sous-sol pour chaque station et pour une implantation géométrique émetteur-récepteur donnée 15 la composante électrique incidente directe, c'est-à-dire la composante en phase par rapport au courant d'émission si l'émission se fait au moyen d'électrodes ou la composante en quadrature par rapport au courant d'émission si l'émission se fait par solénoïde, afin de former le rapport entre le signal 20 incident et le signal réfléchi.

5°) Procédé tel que revendiqué dans l'une quelconque des revendications 1 à 4 selon lequel on effectue l'investigation en profondeur progressive et continue du sous-sol par variation continue de la fréquence entre deux limites et 25 selon une loi prédéterminée dans le temps.

6°) Moyen de mise en oeuvre du procédé revendiqué dans l'une quelconque des revendications 1 à 5 caractérisé en ce qu'il comporte au moins un émetteur (1,2) piloté par un oscillateur à quadrature (10) relié au moyen d'un amplificateur 30 à isolation (20) et un récepteur (3) de champ électrique dont l'amplificateur (5) est connecté à un séparateur des composantes en phase et en quadrature (9) relié audit oscillateur (10), un premier filtre de fréquence (11) étant inséré entre le séparateur (9) et l'amplificateur (5) du récepteur (3) et 35 un second filtre identique (13) étant inséré entre l'oscillateur (10) et le séparateur (9), la sortie du séparateur (9) étant connectée aux moyens de visualisation, de mise en mémoire et d'exploitation des résultats (17,18,19).

7°) Moyen de mise en oeuvre tel que revendiqué en 6 40 comportant en outre, entre le séparateur (9) et le filtre (13)

connecté à l'oscillateur (10), un réseau déphaseur réglable (14).

8°) Moyen de mise en oeuvre tel que revendiqué dans l'une quelconque des revendications 6 et 7 comportant un second capteur (4) dit capteur de compensation dont l'amplificateur (6) est connecté à un filtre (12) identique à celui connecté à l'amplificateur (5) du récepteur (3), le filtre (11) du récepteur (3) étant directement connecté à un amplificateur de différence (8) et le filtre (12) du second capteur (4) étant connecté audit amplificateur de différence par un potentiomètre (7), le séparateur de composante (9) étant connecté à la sortie dudit amplificateur (8).

9°) Moyen de mise en oeuvre tel que revendiqué dans l'une quelconque des revendications 6 à 8 dont la fréquence fournie par l'oscillateur (10) est contrôlée par la tension fournie par un générateur de tension variable (15).

10°) Moyen de mise en oeuvre tel que revendiqué dans l'une quelconque des revendications 6 à 9 caractérisé en ce qu'un amplificateur compensateur (21) est inséré entre l'amplificateur (8) et le séparateur (9), le gain de l'amplificateur inversement proportionnel à la fréquence étant contrôlé par la tension fournie par le générateur (15) contrôlant l'oscillateur (10).

11°) Moyen de mise en oeuvre tel que revendiqué dans l'une quelconque des revendications 6 à 10 dont le filtre passe-bas du séparateur (9) est un filtre dont la fréquence de coupure est contrôlée par la tension fournie par le générateur (15) contrôlant l'oscillateur (10)

12°) Moyen de mise en oeuvre tel que revendiqué dans l'une quelconque des revendications 6 à 11 dont l'entrée du filtre (13) relié au séparateur de composante (9) est reliée à la sortie sinus ou à la sortie cosinus de l'oscillateur (10) au moyen d'un commutateur (16).

13°) Moyen de mise en oeuvre tel que revendiqué dans l'une quelconque des revendications 6 à 11 caractérisé en ce que deux chaînes de mesure identiques constituées chacune par les dispositifs : filtre (13), réseau déphaseur (14), séparateur (9), moyens de visualisation, de mise en mémoire et d'exploitation des résultats (17,18,19) sont reliées respectivement aux sorties sinus et cosinus de l'oscillateur (10)

la première chaîne fournissant la composante en phase et la seconde la composante en quadrature.

14°) Moyen de mise en oeuvre tel que revendiqué dans l'une quelconque des revendications 6 à 13 dont une entrée de 5 l'amplificateur de différence (8) est reliée à un interrupteur (22) permettant de déconnecter la chaîne du capteur de compensation (4).

15°) Moyen de mise en oeuvre tel que revendiqué dans l'une quelconque des revendications 6 à 14 dont l'émetteur 10 comprend une série d'amplificateurs (2) disposés en parallèle dont les masses sont connectées en commun à une électrode ou à un groupe d'électrodes et dont les bornes de sorties sont connectées respectivement à autant d'électrodes ou groupe d'électrodes que d'amplificateurs.

FIGURE UNIQUE

